

**PENGKAJIAN POTENSIAL POSCHL-TELLER
DENGAN SIMULASI MENGGUNAKAN
BAHASA PEMROGRAMAN DELPHI 7.0**



Disusun oleh :

Hanni christiawan

M.0205026

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains Fisika**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2010

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Istilah nanoteknologi pertama kali dipopulerkan oleh peneliti Jepang Norio Taniguchi pada tahun 1974. Nama nano teknologi diambil dari kata nanometer (nm) atau seper milyar meter, atau seper seratus ribu dari diameter rambut manusia. Nanoteknologi merupakan teknologi yang mampu mengerjakan dengan ketepatan lebih kecil dari satu mikrometer (seperjuta meter). Pengertian yang terkandung dalam kata “nanoteknologi” yang berkembang saat ini lebih dari sekadar miniaturisasi dalam skala nanometer (sepermiliar meter), tetapi suatu istilah dari teknologi dengan aplikasi yang sangat luas melingkupi hampir di seluruh kehidupan manusia. Teknologi nano adalah suatu rancangan, karakteristik, produksi, dan penerapan berbagai struktur, piranti, dan sistem dengan bentuk terkendali serta berukuran nanometer (Ade, 2009).

Sepanjang abad 20 banyak muncul teknologi baru yang mempunyai dampak besar terhadap kehidupan umat manusia. Industri mikroelektronik menjadi salah satu bagian dari teknologi baru tersebut. Keberadaan komponen Microelectronic yang berwujud mikroprosesor dan memori yang digunakan dalam komputer, komponen audio dari Hi-Fi dan visual yang berupa gambar di televisi. Saat ini pun di dunia tidak terlepas dari penggunaan komponen elektronik di setiap bidang kehidupan sehari-hari mulai dari sistem komunikasi yang berupa telepon, mobilephone, perbankan, kartu kredit, pengontrol pemanas, maupun pengolah makanan (Ade, 2009).

Penggunaan efek kuantum sendiri dalam divais bermacam-macam. Salah satunya adalah divais elektronika yang menggunakan struktur kecil kuantum dot maupun superlatis. Pada divais dengan struktur superlatis inilah yang diproyeksikan bisa dipakai dalam aplikasi divais dengan kecepatan tinggi. Contoh divais dari jenis

ini yang sudah diproduksi adalah HEMT (High Electron Mobility Transistor) yang biasa dipakai pada sistem pemancar satelit (Nuryadi, 2006).

Awal tahun 2001, gate length dari MOSFETS yang digunakan oleh INTEL PENTIUM IV berupa mikro prosesor chip sudah berukuran 100 nm dengan ketebalan oksida lebih kurang dari 2 nm dan mampu menampung 28 juta transistor per prosesor. Sejak saat itu Industri mikro elektronik berubah menjadi nanoelectronics (Ade, 2009).

Komputer fotonik merupakan salah satu gagasan yang nantinya akan dapat dinikmati pada awal millenium ke-3. Hal ini dikarenakan melihat perkembangan teknologi serat optik yang berkembang sangat cepat. Salah satu yang sudah ada adalah pengembangan sumber cahaya dalam bentuk laser semikonduktor dan LED (Light Emitting Dioda) yang dapat dipakai sebagai sumber cahaya pada komputer fotonik. Pada komputer fotonik data akan disimpan secara tiga dimensi dalam medium yang ketebalannya berorde mikrometer (Akhadi, 2002).

Kisi merupakan pola geometri dari kristal. Spektrum dari vibrasi kisi adalah penting untuk mempelajari masalah yang terkait dengan interaksi foton dan elektron dengan kisi kristal, absorpsi inframerah, difraksi sinar x dan kapasitas panas. Atom yang bervibrasi dalam daerah 1 dimensi diasumsikan longitudinal dimana arah pergerakan partikel tegak lurus dengan arah perambatan gelombang (Kittel, 1953).

Dalam fisika kuantum mekanik, suatu partikel dalam kisi satu dimensi akan membahas mengenai kisi kristal periodik. Masalah ini merupakan hasil penyederhaan dari potensial barier tiga dimensi tanpa batas menjadi kasus satu dimensi. Potensial periodik ini disebabkan oleh ion dalam struktur periodik sebuah kristal yang dapat menghasilkan medan magnet sehingga menjadikan elektron-elektron di dalam kisi sebagai subjek sebuah potensial yang biasa. Hal ini merupakan sisipan dari model elektron bebas yang diartikan sebagai potensial awal dalam kisi kristal. Ketika membahas mengenai material berwujud padat, penjelasan intinya adalah berkisar mengenai kisi periodik kristal (Dian Cipta Ningsih, 2009).

Mekanika kuantum adalah penting untuk menguraikan gejala alam dalam skala atom, akan tetapi hukum Newton hanya berlaku untuk sistem makro. Supersimetri mekanika kuantum adalah salah satu solusi dalam penentuan spektrum energi dan fungsi gelombang dari beberapa sistem potensial. Supersimetri operator muatan sebagai faktor penyusun SUSY Hamiltonian merupakan suatu konsep penting dalam supersimetri mekanika kuantum. Potensial Poschl-Teller adalah salah satu solusi dari persamaan schrodinger, dari fungsi gelombang dan probabilitas Poschl –Teller dapat diprediksikan sifat – sifat dari partikel atomik dimana partikel dibatasi oleh jarak tertentu.

Dalam skala nano sistem dapat digunakan untuk mendiskripsikan interaksi ikatan diantara atom dalam molekul. Dinamika ikatan molekul dapat menjelaskan emisi elektromagnetik dan kemampuan serap dari berbagai molekul. Solusi dari sistem berguna untuk aplikasi distribusi probabilitas atau probabilitas fungsi gelombang dalam model mekanik.

Potensial Poschl-Teller merupakan salah satu solusi dari persamaan schrodinger sehingga berdasarkan pada fungsi gelombang dan probabilitas maka dapat diprediksikan momentum partikel atomik.

Pembuatan program dalam bahasa pemrograman Borland Delphi 7.0. akan dibandingkan dengan software *Microsoft Excel*. Fungsi gelombang dan fungsi probabilitas gelombang Poschl-Teller akan dibuat dengan menggunakan software Delphi dengan bantuan Maple 9.5. Perbandingan diperlukan untuk mengetahui program yang dibuat adalah benar sesuai dengan algoritma yang ada.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dituliskan perumusan masalah yaitu bagaimanakah mendeskripsikan fungsi gelombang dan probabilitas potensial poschl-teller dalam bentuk grafik.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah membuat grafik fungsi gelombang dan probabilitas Potensial Poschl-Teller dengan metode operator.

I.4. Batasan Penelitian

Penyusunan program untuk penyelesaian secara numerik fungsi gelombang poschl-teller tanpa normalisasi menggunakan metode operator dilakukan untuk $n = 0$ sampai $n = 2$ saja. Sebagai grafik acuan adalah grafik hasil perhitungan dengan software EXCEL karena untuk sementara hanya ada penjabaran persamaan, sedangkan belum ada literatur grafik fungsi gelombang Potensial Poschl-Teller tanpa normalisasi

I.5. Manfaat Penelitian

Memberikan pengalaman penelitian dalam bidang simulasi dari partikel atomik dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.0 dan dibantu software Maple 9.5. Selain itu, dapat digunakan untuk mengkaji sifat partikel atom yang bermanfaat juga untuk pengembangan bidang lain yang terkait dengan fungsi gelombang Poschl-Teller.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu kelemahan model atom Bohr hanya bisa dipakai untuk menjelaskan model atom hydrogen dan atom atau ion yang memiliki konfigurasi elektron seperti atom hydrogen, dan tidak bisa menjelaskan untuk atom yang memiliki banyak elektron. Werner heinsberg (1901-1976), Louis de Broglie (1892-1987), dan Erwin Schrödinger (1887-1961) merupakan para ilmuwan yang menyumbang berkembangnya model atom modern atau yang disebut sebagai model atom mekanika kuantum.

Pernyataan de Broglie yang menyatakan bahwa partikel dapat bersifat seperti gelombang telah menginspirasi Schrödinger untuk menyusun model atomnya dengan memperhatikan sifat elektron bukan hanya sebagai partikel tapi juga sebagai gelombang, artinya dia menggunakan dualisme sifat elektron.

Persamaan gelombang (Ψ) dari suatu sistem secara umum yang menguasai gerak elektron bebas dan mempunyai sifat dualisme, yaitu sebagai gelombang elektromagnetik dan sebagai materi dinyatakan sebagai :

$$\Psi = e^{i(kx - \omega t)} \quad (2.1)$$

dimana

k = bilangan gelombang (m^{-1})

x = pergeseran (m)

ω = frekuensi sudut (s^{-1})

t = waktu (s)

Sebagai partikel bebas, energi total elektron dengan massa m , dan momentum p adalah :

$$E = \frac{p^2}{2m} \quad (2.2)$$

Sebagai gelombang energi total elektron bebas dengan frekuensi adalah :

$$E = \hbar \nu = \hbar \omega \quad (2.3)$$

Sehingga dari persamaan (2.2) dan persamaan (2.3) diperoleh hubungan :

$$\hbar \omega = \frac{p^2}{2m} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} \quad (2.4)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2.4) dan persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) dapat diperoleh fungsi gelombangnya, yaitu :

$$\Psi = e^{i\left(\frac{p}{\hbar}x - \frac{E}{\hbar}t\right)} \quad (2.5)$$

Persamaan energi total dinyatakan sebagai :

$$H\Psi = E\Psi \quad (2.6)$$

dimana :

$$E = i\hbar \frac{d}{dt}, \text{ dimana } E = \text{energi total(joule)} \quad (2.7a)$$

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2}, \text{ dimana } H = \text{Hamiltonian original} \quad (2.7b)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2.7a) dan persamaan (2.7b) ke dalam persamaan (2.6) dapat diperoleh :

$$i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi}{dx^2} \quad (2.8)$$

Bila sistem dikuasai oleh suatu medan gaya dengan energi potensial (V), maka energi total pada persamaan (2.7) dapat dituliskan kembali menjadi :

$$i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi}{dx^2} + V\Psi \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) ini, dalam mekanika kuantum disebut sebagai persamaan schrödinger. Untuk sistem stationer, dimana posisi tidak tergantung waktu maka persamaan fungsi gelombangnya dapat dipisahkan secara eksplisit, yaitu :

$$\Psi(x,t) = \Psi(x)T(t) \quad (2.10)$$

Sebagai contohnya adalah osilator harmonik satu dimensi yang merupakan salah satu sistem yang dapat dipahami dengan baik secara klasik dan kuantum.

Deskripsi suatu sistem dalam kuantum selalu digambarkan dengan spektrum energi dan fungsi gelombang yang menguasai sistem tersebut. Spektrum energi dan fungsi gelombang dapat diperoleh dari persamaan (2.9) dengan menyelesaikan persamaan schrödinger dari sistem tersebut.

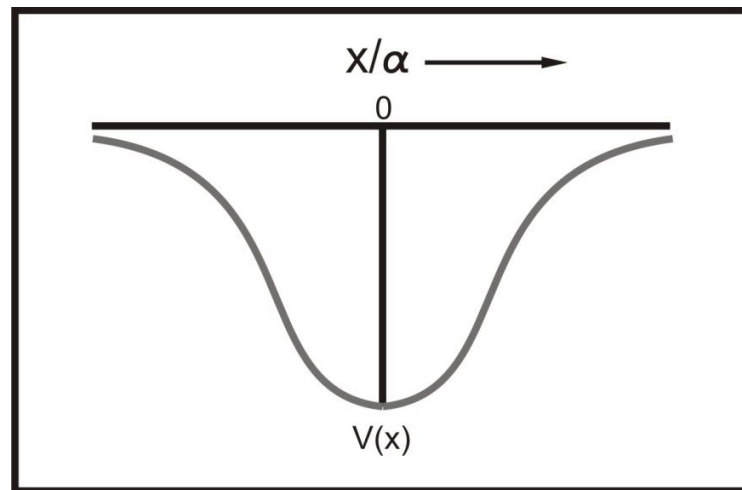
II.1 Potensial Poschl-Teller

Potensial Poschl-Teller merupakan salah satu solusi dari persamaan schrodinger sehingga berdasarkan pada fungsi gelombang dan probabilitas maka dapat diprediksikan sifat – sifat dari partikel atomik.

Persamaan potensial Poschl-teller dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_{\text{eff}}(x) = \frac{\hbar^2}{2m\alpha} \left\{ \frac{K(K-1)}{\sin^2\left(\frac{x}{\alpha}\right)} + \frac{\lambda(\lambda-1)}{\cos^2\left(\frac{x}{\alpha}\right)} \right\} \quad (2.11)$$

Dimana $\lambda, K > 1$



Gambar 2.1. Potensial Poschl-Teller untuk $\hbar^2/2m = 1$ (Dahmen, 1989)

Persamaan Schrodinger untuk potensial Poschl-Teller adalah sebagai berikut :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \Psi}{dx^2} + V(x) \Psi = E \Psi \quad (2.12)$$

Dari persamaan (2.11) dan (2.12) maka persamaannya Schrodinger untuk potensial poschl-teller adalah :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{\hbar^2}{2m\alpha} \left[\frac{K(K-1)}{\sin^2\left(\frac{x}{\alpha}\right)} + \frac{\lambda(\lambda-1)}{\cos^2\left(\frac{x}{\alpha}\right)} \right] \Psi = E \Psi \quad (2.13)$$

(Dahmen,1989)

II.2 Supersimetri Hamiltonian

Notasi standar untuk supersimetri Hamiltonian yang berasal dari persamaan schrodinger original, diberikan sebagai (Suparmi, 1992) :

$$H_{\pm} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V_{\pm}(x) \quad (2.14)$$

dimana :

V_+ dan V_- = pasangan (superpartner) potensial efektif.

$H_{ss} = H_+ =$ supersimetri Hamiltonian ($H_n^+ = H_{n+1}^-$)

Bila didefinisikan dari operator-operator muatan, dapat ditulis bentuk operator baru yaitu lowering operator (operator penurun) A dan raising operator (operator penaik) A^+ yang diberikan sebagai :

$$Q = \frac{Q_1 + iQ_2}{\sqrt{2}} = \begin{bmatrix} 0 & -iA \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15 \text{ a})$$

$$Q^+ = \frac{Q_2 - iQ_1}{\sqrt{2}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ iA^+ & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15 \text{ b})$$

dimana :

$$A^+ = -\frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \frac{d}{dx} + \phi(x) \quad (2.16 \text{ a})$$

$$A = \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \frac{d}{dx} + \phi(x) \quad (2.16 \text{ b})$$

Sehingga supersimetri Hamiltonian diperoleh sebagai berikut :

$$H_{ss} = H_{\pm} = \begin{bmatrix} H_+ & 0 \\ 0 & H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AA^+ & 0 \\ 0 & A^+A \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Untuk selanjutnya, Hamiltonian original (H) dapat difaktorkan menjadi :

$$H = A^+A + \epsilon_0 \quad (2.18)$$

Dimana A^+ dan A didefinisikan pada persamaan (2.16 a) dan persamaan (2.16 b).

Dari persamaan (2.18) dapat diperoleh hubungan antara potensial original efektif (V_{eff}) dengan superpartner V_- sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A^+A &= \left(\frac{-\hbar}{\sqrt{2m}} \frac{d}{dx} + \phi(x) \right) \left(\frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \frac{d}{dx} + \phi(x) \right) \\ &= \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \frac{d}{dx} \phi(x) + \phi^2(x) \end{aligned}$$

Sehingga,

$$H = \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V_{\text{eff}}(x)$$

$$= \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \phi^2(x) - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \phi'(x) + \epsilon_0 \quad (2.19)$$

dimana :

ϵ_0 adalah faktorisasi energi.

Dari persamaan (2.19) diperoleh :

$$V_{\text{eff}}(x) = \phi^2(x) - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \phi'(x) + \epsilon_0 \quad (2.20)$$

Dan V_- didefinisikan sebagai :

$$V_- = \phi^2(x) - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \phi'(x) \quad (2.21)$$

Sehingga diperoleh hubungan : $V = V_- + \epsilon_0$

Dari persamaan (2.21) ini bisa ditentukan superpotensial $\phi(x)$ dari original potensial (Suparmi, 1992).

Dan dari persamaan (2.14) maka supersimetri Hamiltonian didefinisikan sebagai :

$$H_{\pm} = \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \phi^2(x) \pm \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \phi'(x) \quad (2.22)$$

Sehingga persamaan (2.22) dapat ditulis :

$$H_{ss} = H_{\pm} = \begin{bmatrix} H_+ & 0 \\ 0 & H_- \end{bmatrix}$$

$$H_{ss} = H_{\pm} = \begin{bmatrix} \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \phi^2(x) + \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \phi'(x) & 0 \\ 0 & \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \phi^2(x) - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \phi'(x) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Dari persamaan ini dapat dikatakan bahwa supersimetri Hamiltonian H_- dan H_+ dapat difaktorkan menjadi dua persamaan diferensial dari operator orde satu A dan A^+ . Karena H_{\pm} adalah merupakan kuadrat dari operator Q_1 dan Q_2 , maka spektrum energi selalu positif atau nol. Suatu sistem supersimetri dikatakan mempunyai simetri yang baik bila operator A dan A^+ memusnahkan fungsi gelombang dasar $A \Psi_0 = 0$.

Dengan demikian sistem H_- mempunyai energi tingkat dasar nol dan $H = H_- + \epsilon_0$. Untuk selanjutnya hanya akan meninjau superpartner Hamiltonian (Suparmi, 1992).

II.3 Operator Potensial Poschl-Teller

Potensial efektif untuk potensial Poschl-teller dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_{eff} = \frac{\hbar^2}{2m\alpha} \left\{ \frac{K(K-1)}{\sin^2(x)} + \frac{\lambda(\lambda-1)}{\cos^2(x)} \right\} \quad (2.24)$$

Misal superpotensialnya adalah :

$$\phi(x) = A \tan\left(\frac{x}{\alpha}\right) - B \cot\left(\frac{x}{\alpha}\right) \quad (2.25)$$

Potensial efektif didefinisikan pada persamaan (2.20) sebagai :

$$V_{eff}(x) = \phi^2(x) - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \phi'(x) + \epsilon_0$$

Sehingga disubstitusi dengan persamaan (2.25) dapat dituliskan :

$$\begin{aligned} &= A^2 \sec^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) + B^2 \operatorname{cosec}^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) - A^2 - B^2 - 2AB - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \left[\frac{A}{\alpha} \sec^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) + \frac{B}{\alpha} \operatorname{cosec}^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) \right] + \epsilon_0 \\ &= \left[A^2 - \frac{A}{\alpha} \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \right] \sec^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) + \left[B^2 - \frac{B}{\alpha} \frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \right] \operatorname{cosec}^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) - [A^2 + B^2 + 2AB] + \epsilon_0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Potensial efektif dapat dituliskan sebagai :

$$V_{eff}(x) = \frac{\hbar^2}{\sqrt{2m}} K(K-1) \operatorname{cosec}^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) + \frac{\hbar^2}{\sqrt{2m}} \lambda(\lambda-1) \sec^2\left(\frac{x}{\alpha}\right) \quad (2.27)$$

Dari persamaan (2.26) dan (2.27) superpotensial diperoleh :

$$\phi(x) = \left(\frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{\hbar^2}{2m}} \right) \left[\lambda \tan\left(\frac{x}{\alpha}\right) - K \cot\left(\frac{x}{\alpha}\right) \right] \quad (2.28)$$

Sehingga harga spectrum energi untuk potensial Poschl-Teller dapat dinyatakan sebagai berikut :

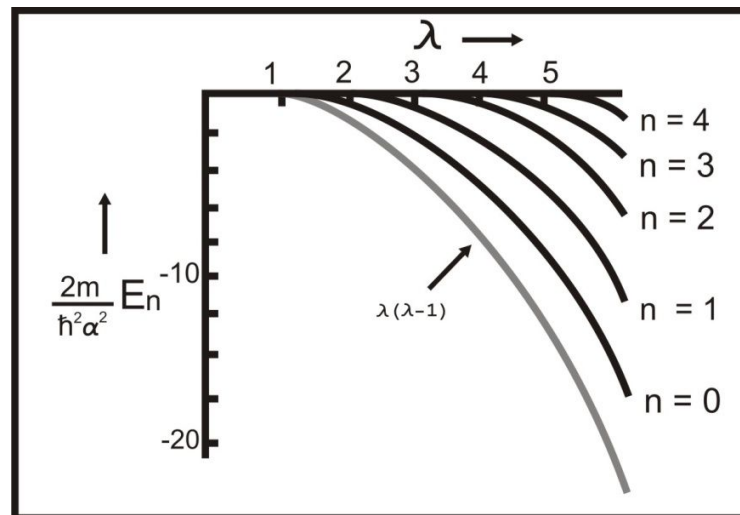
$$E_n = E_n^{(-)} + \epsilon_0 \quad (2.29)$$

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m\alpha^2} (2n + K + \lambda)^2 - \frac{\hbar^2}{2m\alpha^2} (K + \lambda)^2 + \frac{\hbar^2}{2m\alpha^2} (K + \lambda)^2$$

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m\alpha^2} (2n + K + \lambda)^2$$

Dengan menggunakan formula pendekatan SWKB (formula kuantisasi energi dengan metode semiklasik) diperoleh spektrum energi tepat tanpa menggunakan koreksi Langer untuk sistem potensial Poschl-Teller. Spektrum energi untuk sistem potensial Poschl-Teller adalah :

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m\alpha^2} (2n + K + \lambda)^2 \quad (2.30)$$



Gambar 2.2. Spektrum energi untuk sistem potensial Poschl-Teller
(Dahmen, 1989)

Untuk menghasilkan operator diferensial schrödinger diperlukan raising operator (penaik operator) dan lowering operator (penurun operator). Raising operator dan lowering operator untuk potensial Poschl-Teller dinyatakan pada persamaan (2.16 a) dan persamaan (2.16 b). Dengan menggunakan sifat-sifat operator maka dapat ditunjukkan fungsi gelombang terendah dan tereksitasi

$$A^+ \Psi_1 = \Psi_0 \quad (2.31)$$

$$A \Psi_0 = 0 \quad (2.32)$$

Berdasarkan sifat operator maka dapat diperoleh nilai awal fungsi gelombang Poschl-Teller, yang ditunjukkan dengan mensubstitusikan persamaan (2.32) dengan persamaan (2.16 b) yang ditunjukkan seperti berikut ini :

$$A \Psi_0 = \left(\frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \frac{d}{dx} + \phi \right) \Psi_0 = 0 \quad (2.33)$$

Dari persamaan (2.33) dan persamaan (2.28) maka diperoleh persamaan seperti berikut :

$$\left(\frac{\hbar}{\sqrt{2m}} \frac{d}{dx} + \frac{\hbar}{\alpha \sqrt{2m}} (\lambda \tan(x) - K \cot(x)) \right) \Psi_0 = 0 \quad (2.36)$$

Jika harga normalisasi dianggap mendekati nilai 1, maka dari persamaan (2.36) diperoleh :

$$\Psi_0 = \sin^K(x) \cos^\lambda(x) \quad (2.37)$$

Dimana $\frac{\hbar^2}{2m} = 1$ dan $\alpha = 1$

Harga awal fungsi gelombang Potensial Poschl-Teller dari persamaan (2.37) dapat disebut harga fungsi gelombang Potensial Poschl-Teller tanpa normalisasi. Sehingga secara umum harga fungsi gelombang Poschl-Teller tanpa normalisasi dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Psi_n = A^{+n} \Psi_{n-1} \quad (2.38)$$

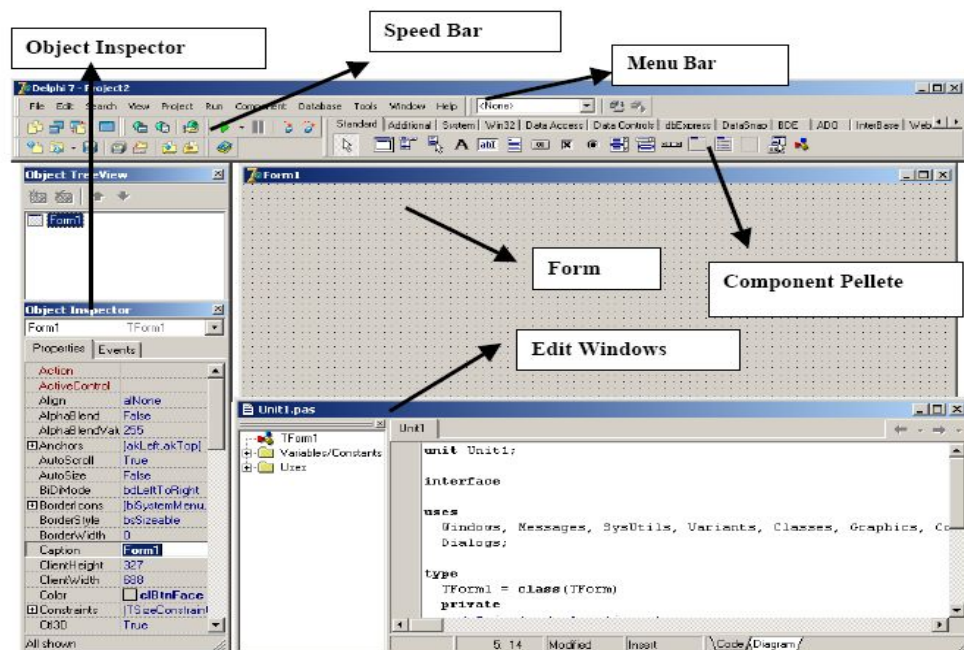
Harga fungsi probabilitas gelombang Poschl-Teller tanpa normalisasi yang merupakan harga kuadrat dari fungsi gelombang Poschl-Teller tanpa normalisasi. Sehingga harga fungsi Probabilitas gelombang Poschl-Teller tanpa normalisasi dapat dituliskan seperti berikut :

$$|\Psi_n|^2 = (A^{+n} \Psi_{n-1})^2 \quad (2.39)$$

Fungsi gelombang pada persamaan (2.38) dan fungsi probabilitas pada persamaan (2.39) akan dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.0 dibantu dengan software Maple 9.5.

II.4 Borland Delphi 7.0

Borland Delphi merupakan suatu bahasa pemrograman yang memberikan keunggulan berbagai fasilitas pembuatan aplikasi visual. Keunggulan bahasa pemrograman ini terletak pada produktifitas, kualitas, pengembangan perangkat lunak, kecepatan kompilasi, pola desain yang menarik serta diperkuat dengan pemrogramannya yang terstruktur. Keunggulan lain dari Delphi adalah dapat digunakan untuk merancang program aplikasi yang memiliki tampilan program aplikasi lain yang berbasis Windows. (MADCOMS, 2002)



Gambar 2.3. Lembar kerja Borland Delphi

Delphi termasuk dalam bahasa tingkat tinggi (low level language) maksud dari bahasa tingkat tinggi yaitu program dimana perintah – perintahnya menggunakan bahasa yang mudah dipahami oleh manusia. Perintah-perintah pada Delphi dapat dilakukan secara visual. Pemrogram tinggal memilih objek apa yang ingin dimasukkan ke dalam Form atau window, lalu tingkah laku objek saat menerima *event* atau aksi tinggal dibuat programnya.

Delphi adalah sebuah perangkat lunak untuk membuat program. Aplikasi komputer berbasis windows. Delphi merupakan bahasa pemrograman berbasis objek, artinya semua komponen yang ada merupakan objek-objek. Ciri sebuah objek adalah memiliki nama, properti dan metode atau *procedure*. Delphi disebut juga visual programming artinya komponen-komponen yang ada tidak hanya berupa teks tetapi muncul berupa gambar-gambar.

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Waktu penelitian selama 4 bulan dari bulan september sampai desember 2009 dan penelitian dilakukan di Laboratorium Komputasi Universitas Sebelas Maret.

III.2. Alat dan Bahan Penelitian

III.2.1 Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan dalam penelitian untuk pembuatan simulasi antara lain:

1. Seperangkat Komputer dengan sistem operasi Windows XP dan prosesor Intel Core 2 Duo
2. Software Borland Delphi 7.0
3. Software Maple 9.5
4. Printer
5. Buku referensi yang terkait

III.2.2 Bahan Penelitian

Persamaan fungsi gelombang dan probabilitas Potensial Poschl-Teller yang digunakan dalam program dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.0 adalah sebagai berikut:

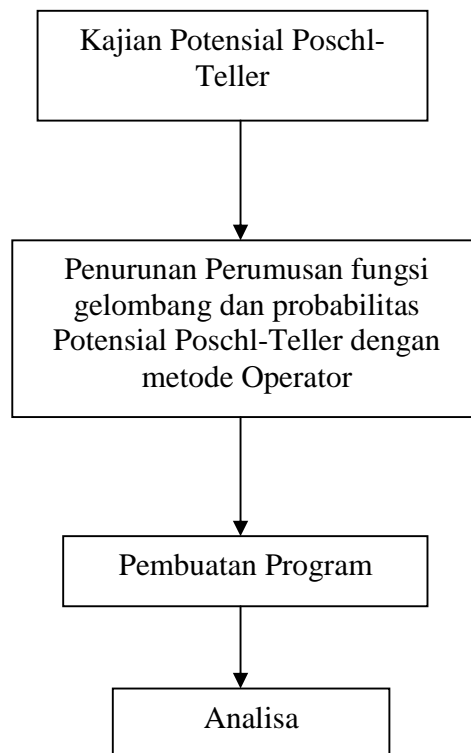
$$\psi_0 = \sin^K(x) \cos^\lambda(x)$$

$$\psi_n = A^{+n} \psi_{n-1}$$

$$|\psi_n|^2 = (A^{+n} \psi_{n-1})^2$$

III.3. Prosedur Penelitian

III.3. 1 Diagram Penelitian

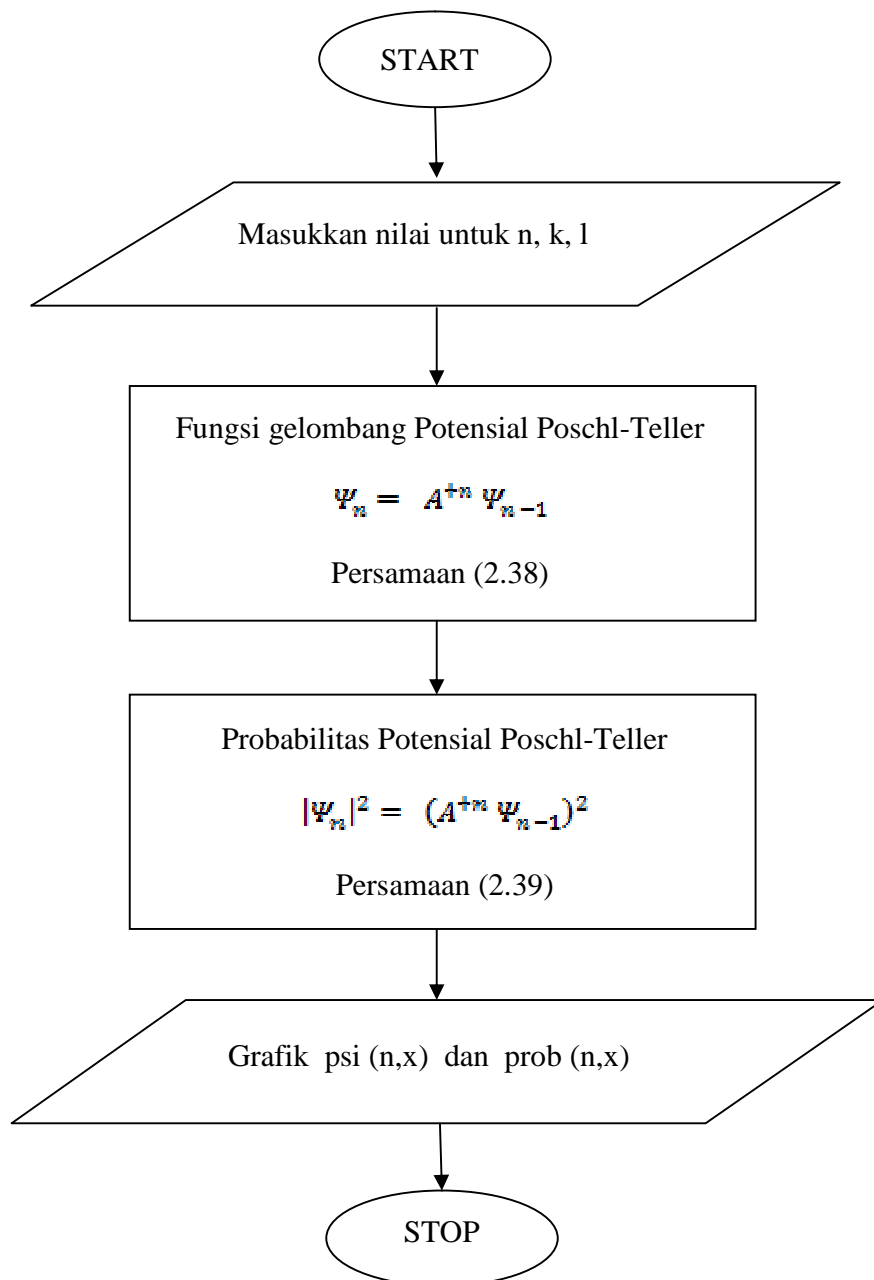


Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Pembuatan simulasi Potensial Poschl-Teller ini dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0. Langkah pembuatan simulasi ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari dan mengkaji literatur tentang Potensial Poschl-Teller
2. merumuskan fungsi gelombang dan probabilitas Potensial Poschl-Teller dengan metode operator
3. membuat simulasi program dengan bahasa pemrograman Borland Delphi 7.0.
4. menganalisa output dari program yang telah dibuat

III.3. 3 Flowchart Pemrograman Dengan Operator



Gambar 3.1. Flowchart Pemrograman dengan operator

Prosedur dalam program simulasi Potensial Poschl-Teller adalah menampilkan data masukan dan data keluaran yang telah dimasukkan dalam program Borland Delphi 7.0. Langkah-langkahnya meliputi :

1. Memberi masukan nilai n , k , dan l dimana nilai $k, l > 1$
2. mengoperasikan prosedur fungsi gelombang Potensial Poschl-Teller
3. mengoperasikan prosedur probabilitas Potensial Poschl-Teller
4. menampilkan grafik fungsi gelombang dan probabilitas Potensial Poschl-Teller

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1. Supersimetri Hamiltonian dan Potensial Poschl-Teller

Bukanlah suatu pekerjaan yang mudah untuk menyelesaikan persamaan Schrodinger bagi sistem potensial yang kompleks seperti, sistem potensial Poschl-Teller, sistem osilator harmonis tiga dimensi dan atom hidrogen. Maka perlu dicari metode baru yang lebih sederhana dan mudah untuk dapat menentukan nilai fungsi gelombang dari sistem potensial yang kompleks. Dengan prinsip SUSY (supersimmetry) Hamiltonian yaitu :

$$H = A^+ A + \epsilon_0$$

dimana :

H = Hamiltonian original

A^+ = raising operator (operator penaik)

A = lowering operator (operator penurunan)

ϵ_0 = faktorisasi energi (setara dengan energi tingkat dasar)

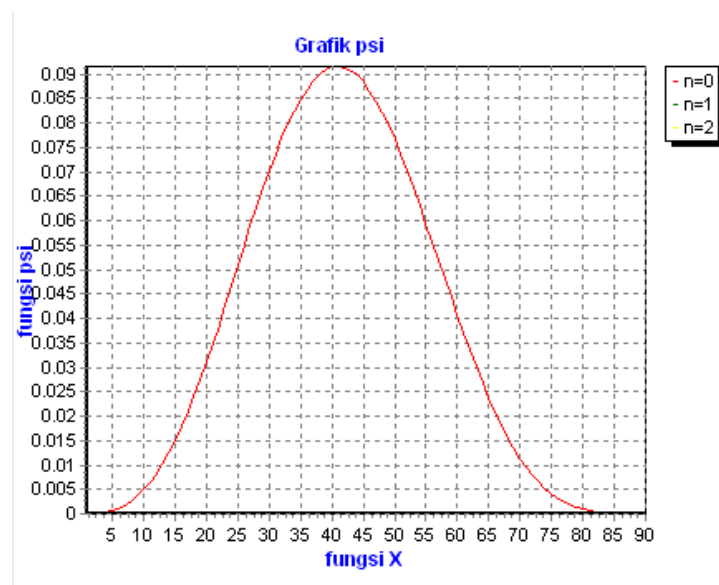
Supersimetri mekanika kuantum merupakan alat yang ampuh dalam penentuan spektrum energi dan fungsi gelombang dari beberapa sistem potensial (witten, 1981). Konsep penting dalam supersimetri mekanika kuantum adalah supersimetri operator muatan sebagai faktor penyusun SUSY Hamiltonian .

Dalam hal ini terlihat transformasi supersimetri berhubungan erat dengan metode faktorisasi Schrodinger (infeld dan Hull, 1951). Metode faktorisasi menunjukkan bahwa operator diferensial Schrodinger adalah sebagai produk dari raising operator (operator penaik) dan lowering operator (operator penurunan). Untuk potensial yang "shape invariant", tingkat-tingkat energi (E_n) dan fungsi gelombang (Ψ_n) dapat diperoleh dengan mengoperasikan operator penaik yang terendah secara berurutan pada masing-masing sistem sistem potensial (Suparmi, 1992).

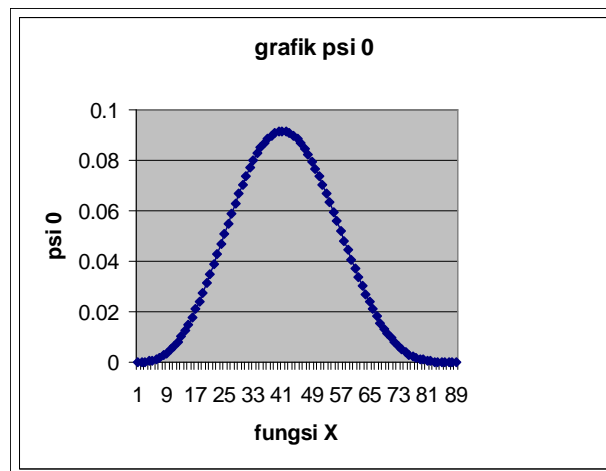
IV.2. Fungsi Gelombang Poschl-Teller

Fungsi gelombang Poschl-Teller dalam pemrograman ini dicari dengan metode operator. Untuk dapat memperoleh persamaan yang akan dikomputasikan dalam program, membutuhkan pengkajian dan pemahaman terhadap dasar teori Potensial Poschl-Teller. Sebagai koreksi kebenaran program yang dibuat, maka software Mikrosot Excel dibutuhkan sebagai software pembanding dari program yang dibuat dengan metode yang sama.

Fungsi Gelombang untuk keadaan $n = 0$ dan pada $\lambda = 4$, $K = 3$ pada gambar 4.1 dan pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dengan menggunakan Borland Delphi 7.0 dan Microsoft Excel adalah sama. Secara fisis fungsi gelombang tersebut memiliki arti pada keadaan *ground state* ($n = 0$)

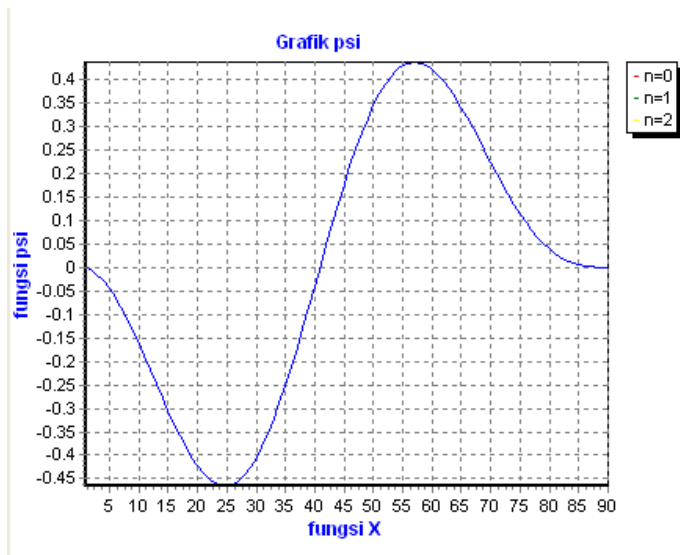


Gambar 4.1. Fungsi Gelombang Poschl-Teller ($n = 0$) dengan menggunakan Borland Delphi 7.0.

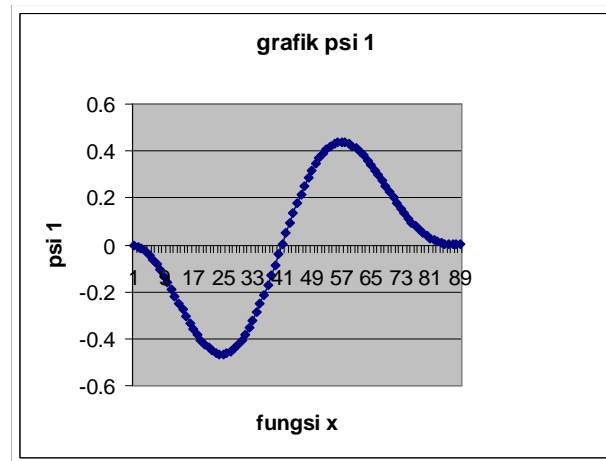


Gambar 4.2. Fungsi Gelombang Poschl-Teller ($n = 0$) dengan menggunakan Microsoft Excel

Untuk Fungsi Gelombang untuk keadaan $n = 1$ dan pada $\lambda = 4$, $K = 3$ pada gambar 4.3 dan pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dengan menggunakan Borland Delphi 7.0 dan Microsoft Excel adalah sama.



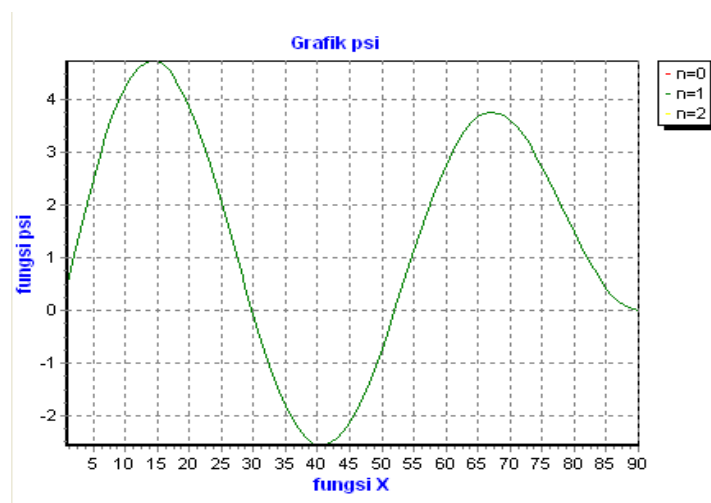
Gambar 4.3. Fungsi Gelombang Poschl-Teller ($n = 1$) dengan menggunakan Borland Delphi 7.0.



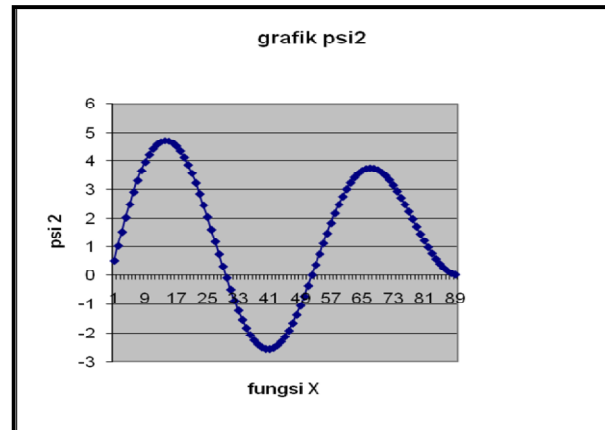
Gambar 4.4. Fungsi Gelombang Poschl-Teller ($n = 1$) dengan menggunakan Microsoft Excel

Pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 terlihat bahwa fungsi gelombang pada keadaan $n = 1$ memiliki 1 puncak dan 1 lembah jika dibandingkan dengan $n = 0$ hanya memiliki 1 puncak saja.

Sedangkan Fungsi Gelombang untuk keadaan $n = 2$ dan pada $\lambda = 4$, $K = 3$ pada gambar 4.5 dan pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dengan menggunakan Borland Delphi 7.0 dan Microsoft Excel adalah sama.



Gambar 4.5. Fungsi Gelombang Poschl-Teller ($n = 2$) dengan menggunakan Borland Delphi 7.0.

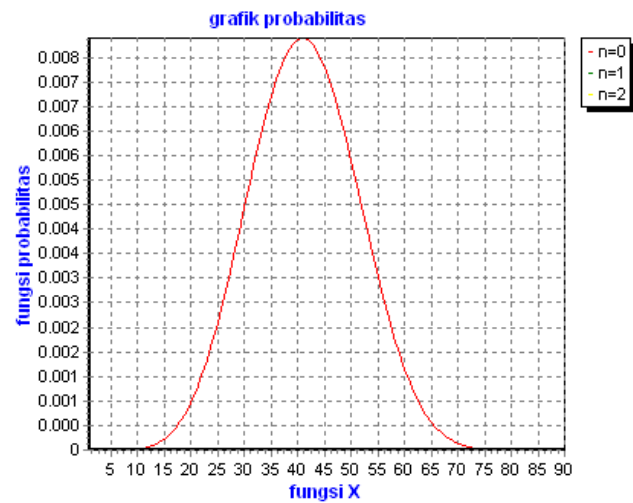


Gambar 4.6. Fungsi Gelombang Poschl-Teller ($n = 1$) dengan menggunakan Microsoft Excel

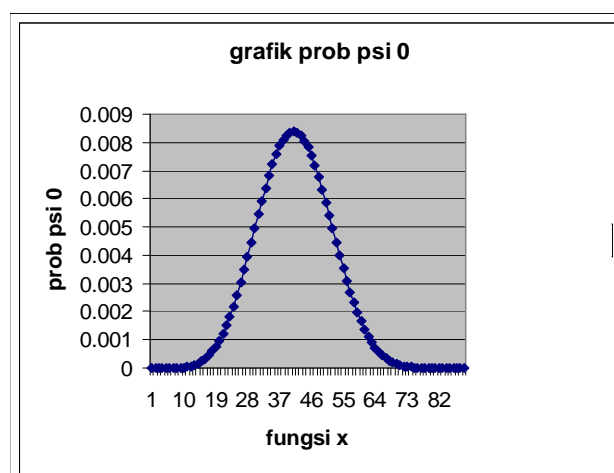
Pada gambar 4.5. dan gambar 4.6. terlihat bahwa fungsi gelombang pada keadaan $n = 2$ memiliki lebih banyak puncak dibandingkan dengan $n = 1$ ataupun $n = 0$. Berdasarkan data tersebut maka semakin banyak n maka puncak yang dihasilkan semakin banyak.

IV.3 Probabilitas Fungsi Gelombang Poschl-Teller

Probabilitas merupakan representasi dari kuadrat fungsi gelombang yang menunjukkan peluang terdapatnya suatu partikel dalam suatu daerah atau kawasan tertentu. Probabilitas akan menyangkut peluang dimana syarat probabilitas ada beberapa macam diantaranya bernilai tunggal, fungsi gelombangnya ternormalisasi. Akan tetapi Probabilitas yang akan dideskripsikan pada program ini adalah Probabilitas fungsi gelombang tanpa normalisasi.



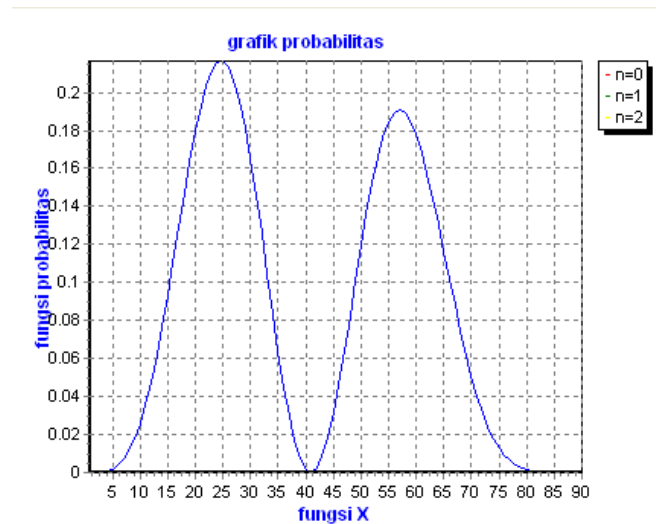
Gambar 4.7. Probabilitas Gelombang Poschl-Teller ($n = 0$) dengan menggunakan Borland Delphi 7.0.



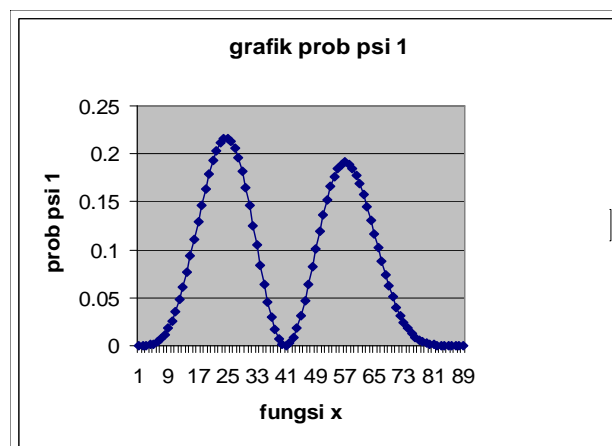
Gambar 4.8. Probabilitas Gelombang Poschl-Teller ($n = 0$) dengan menggunakan Microsoft Excel

Probabilitas fungsi gelombang untuk $n = 0$ dengan pada gambar 4.7. dan gambar 4.8 menunjukkan bentuk yang sama antara dengan menggunakan program

dan software Microsoft Excel. Berdasarkan grafik yang ada probabilitas fungsi gelombang bentuk lebih lancip dengan nilai probabilitas yang lebih kecil dibandingkan fungsi gelombang yang dihasilkan.



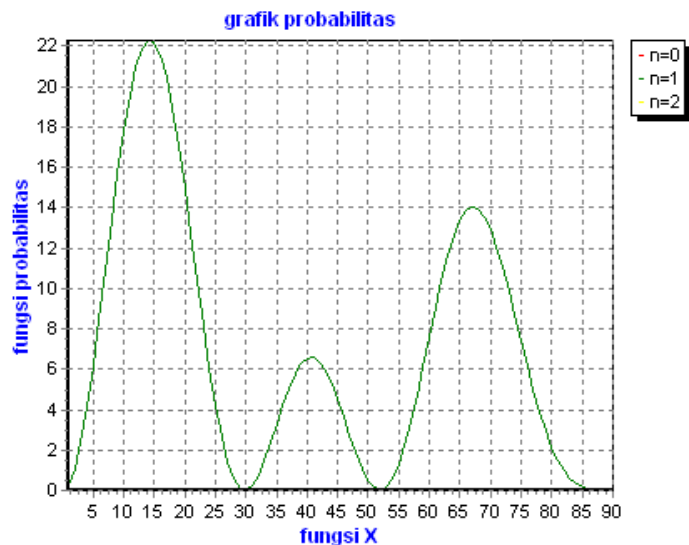
Gambar 4.9. Probabilitas Gelombang Poschl-Teller ($n = 1$) dengan menggunakan Borland Delphi 7.0.



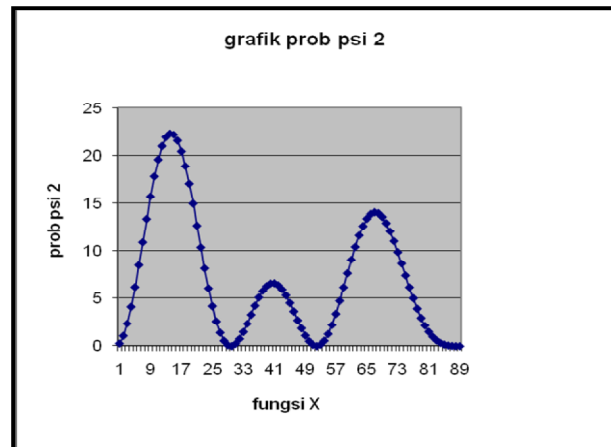
Gambar 4.10. Probabilitas Gelombang Poschl-Teller ($n = 1$) dengan menggunakan Microsoft Excel

Probabilitas fungsi gelombang untuk keadaan $n = 1$ dan $\lambda = 4$, $K = 3$ menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dengan menggunakan program dan software Microsoft Excel adalah sama, dimana menggunakan metode yang sama juga yaitu metode operator. Berdasarkan gambar 4.9 dan gambar 4.10 terlihat 2 puncak pada grafik, meskipun nilainya berbeda. Hal ini berarti keboleh jadian pada $n = 1$ lebih banyak dari pada saat $n = 0$.

Sedangkan Probabilitas fungsi Gelombang untuk keadaan $n = 2$ dan pada $\lambda = 4$, $K = 3$, pada gambar 4.11 dan pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dengan menggunakan Borland Delphi 7.0 dan Microsoft Excel adalah sama.



Gambar 4.11. Probabilitas Gelombang Poschl-Teller ($n = 2$) dengan menggunakan Borland Delphi 7.0.



Gambar 4.12. Probabilitas Gelombang Poschl-Teller ($n = 2$) dengan menggunakan Microsoft Excel

Dari gambar 4.11 dan gambar 4.12 untuk $n = 2$ dapat dilihat kenaikan nilai probabilitas fungsi gelombang yang sangat tajam dari pada saat $n = 0$ ataupun $n = 1$. Hal ini disebabkan karena fungsi gelombang tidak ternormalisasi. Tetapi meskipun tanpa normalisasi, dari gambar 4.11 dan gambar 4.12 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai n maka tingkat keboleh jadiannya semakin banyak. Hal ini dapat dilihat dari banyak puncak dari grafik probabilitas fungsi gelombang yang terjadi dan dibandingkan saat kondisi $n = 0$ dan $n = 1$. Secara fisis ini memiliki arti bahwa ketika puncak semakin banyak maka akan memiliki korespondensi dengan panjang gelombang, seperti pada persamaan yang sering dikenal sebagai panjang gelombang de Broglie. Pada persamaan tersebut panjang gelombang memiliki hubungan terbalik dengan momentum.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1.1. Kesimpulan

1. Potensial Poschl-Teller secara kuantum dideskripsikan dalam bentuk grafik fungsi gelombang dan fungsi probabilitas menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.0.
2. Grafik rapat probabilitas Potensial Poschl-Teller dengan metode operator menunjukkan kebolehjadian suatu partikel yang terkait dengan fungsi gelombang Poschl-Teller .

V.1.2 Saran

1. Fungsi gelombang dapat dibuat dengan menggunakan nilai normalisasi, sehingga output yang diperoleh mendekati hasil yang lebih nyata.
2. Fungsi gelombang dapat digunakan untuk menentukan variabel variabel yang terkait dengan gerak partikel seperti posisi dan momentum.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade, Yon, 2009, *Nanotechnologi dan Nanoelectronic*, Diakses 07 Agustus 2009
<http://komunikasi.um.ac.id/?p=590>
- Akhadi, M., 2002, *Mengendarai Kuantum Menuju Komputer Fotonik*, Diakses 07 Agustus 2009.
<http://www.opto.lipi.go.id/utama.cgi?cetakartikel&1025888420>
- Beiser, A., 1992, *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*, Erlangga, Jakarta.
- Dahmen, D., H., 1989, *Quantum Mechanics On The Personal Computer*, Physics Departement , Siegen University.
- Infell, L., dan Hull, T.D., 1951, *Quasi-Classical Approach to Supersimmetry Path Integral For Shape Invariant Potentials*, Rev Mod. Phys.23.
- Greiner, W., 1989, *Quantum Mechanics*, Physics Departement, Frankfurt University
- Ningsih, Dyah Cipta. 2009, *Potensial Periodik dan Struktur Pita*.
<http://risetfisika.blogspot.com>. Diakses 30 agustus 2009
- Norbury, J., 2000, *Quantum Mechanics*, Physics Department University of Wisconsin, Milwaukee, Diakses 16 November 2009
[http://www.scribd.com/doc/7628263/Quantum -Mechanics-J-Norbury](http://www.scribd.com/doc/7628263/Quantum-Mechanics-J-Norbury)
- Suparmi, 1992, *Semi-Classical Quantization Rules in Supersymmetric Quantum Mechanics*, College of Science and Mathematics Departement of Physics, New york

Nuryadi, R., 2006, *Peran Teknologi Nano Di Bidang IT*, Diakses 17 Desember 2009.

http://asrama-polban.org/index.php?option=com_content&task=view

MADCOMS, 2002, *Pemrograman Borland Delphi 7 jilid 1*, Andi, Yogyakarta.

Witten, E., 1981, *Quasi-Classical Approach to Supersimmetry Path For Shape Invariant Potential*, Nucl. Phys, 2, B188

Yuana, R., A., 2005, *Pemrograman C++*, FMIPA UNS, Surakarta.